

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA ENERGETIKY

**Návrh systému kontinuálního
dávkování materiálu do fluidního
výrobníku popcornu**

(Design of the System of Continuous
Feeding of Material into the Fluidized
Popcorn Maker)

Student:

David Ťuka

Osobní číslo

TUK0008

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Pavlík, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **David Ťuka**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3907R009 Provoz energetických zařízení**
Téma: **Návrh systému kontinuálního dávkování materiálu do fluidního výrobníku popcornu**
Design of the System of Continuous Feeding of Material into the Fluidized Popcorn Maker
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh řešení zajišťující kontinuální dávkování vstupního materiálu do reaktoru fluidního výrobníku popcornu. Stanovte vhodnou teplotu vstupního materiálu s ohledem na dobu trvání procesu výroby popcornu, navrhnete systém předehřevu vstupního materiálu, navrhnete systém odvodu zbytků materiálu z prostoru reaktoru a vypracujte konstrukční návrh řešení přestavby současného zařízení.

Obsah bakalářské práce:

1. Rešerše v oblasti fluidních kotlů a dopravníků materiálu.
2. Stanovení vhodné teploty materiálu na vstupu do reaktoru.
3. Návrh systému předehřevu vstupního materiálu.
4. Návrh systému kontinuálního dávkování materiálu do reaktoru.
5. Návrh systému odvodu zbytků materiálu z reaktoru.
6. Výkresová dokumentace navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, Václav, Břetislav JANEBA a Jiří TEYSSLER. Parní kotle. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. Česká matice technická, č. spisu 381, roč. 88 (1983).

Fluidní spalování tuhých a kapalných paliv a odpadů. Monografie ÚVP, č. 14.

VILIMEC, Ladislav. Řízení a regulace energetických zařízení. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1853-5.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0043-8.

ZEGZULKA, Jiří. Mechanika sypkých hmot. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0699-1.

VITÁSEK, František. Ohřev materiálu. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1974.

BASU, Prabir. Combustion and gasification in fluidized beds. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006. ISBN 0-8493-3396-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Pavlík, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.5.2020

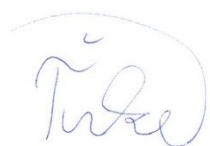
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'T. Hájek', is written above a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- Jsem si vědom, že na tuto mojí závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 – (školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek v její obhajobě.

V Ostravě dne 18.05.2020


.....
Podpis autora práce

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Žuka, D. *Návrh systému kontinuálního dávkování materiálu do fluidního výrobku popcornu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2020, 51 s. Vedoucí práce: PAVLÍK, P.

Bakalářská práce se zabývá návrhem kontinuálního dávkování materiálu do fluidního výrobku popcornu. Před tímto návrhem bylo provedeno stanovení vhodné teploty vstupního materiálu sloužící pro následný návrh předehřívacího systému a výběr vhodných komponentů před následující realizací. Následně je popsána činnost těchto komponentů, a potom jsou vytvořeny 3D vizualizace modelů v programu Autodesk Inventor Professional 2018. Závěrečná část bakalářské práce obsahuje návrh pro odvod zbytků materiálu z reaktoru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Žuka, D. *Design of the System of Continuous Feeding of Material into the Fluidized Popcorn Maker: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2020, 51 s. Thesis head: PAVLÍK, P.

The bachelor thesis deals with the design of the system of continuous feeding of material into the fluidized popcorn maker. This thesis also includes the assessment of entering material temperature used for subsequent design of preheating system and selection of suitable components before the realization of the teaching model. Thesis describes the operation of individual components and then they are created 3D models in Autodesk Inventor Professional 2018. The final part contains the design for outlet of material residues from the reactor.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
1 Úvod.....	9
2 Fluidní spalování.....	10
2.1 Fluidizace	10
2.2 Fluidní vrstva.....	10
2.3 Typy fluidních vrstev	11
2.4 Koncepce fluidních kotlů	13
3 Teorie dopravníků materiálu	17
3.1 Dopravníky bez tažného elementu	18
3.2 Dopravníky s tažným elementem.....	20
4 Popis současného fluidního zařízení	24
5 Návrh systému předehřevu vstupního materiálu.....	26
5.1 Stanovení vhodné teploty materiálu na vstupu do reaktoru.....	26
5.2 Předehřívací systém	29
5.3 Výběr předehřívacích komponentů.....	30
6 Návrh systému kontinuálního dávkování do reaktoru	34
6.1 Návrh potrubního systému	36
6.2 Vizualizace dopravního systému	38
7 Návrh systému odvodů zbytků materiálu.....	39
7.1. Vizualizace systému odvodů zbytků materiálu	42
8 Závěr	44
Seznam literatury	45
Seznam použitých obrázků	48
Seznam tabulek.....	49
Seznam příloh	50
Poděkování	51

Seznam použitých značek a symbolů

NO_x	Oxidy dusíku	[-]
t_{vz}	Teplota vzdušiny	[°C]
t_p	Teplota puknutí	[°C]
τ	Doba ohřevu	[s]

1 Úvod

S rostoucí populací lidstva se zvyšují požadavky na energii. V současné době čerpáme elektrickou energii z velké části z jádra, vody a fosilních paliv. Fosilní paliva patří mezi neobnovitelné zdroje energie a jejich spalování s postupem času vytváří ekologickou averzi ve společnosti oproti produkci energie z obnovitelných zdrojů. Otázkou však zůstává, jak zajistit dostatek ekologické energie z fosilních paliv pro populaci na naší planetě a zároveň snížit jejich spotřebu. Jednou z eventuálních možností, jak zaručit menší spotřebu fosilních paliv je jejich spalování s vyšší účinností. Jedna z mnoha technologií spalování ke tvorbě energie s více ekologickým spalováním oproti jiným technologiím, nám poskytuje fluidní spalování, které má vyšší účinnost odsíření spalín a redukci NO_x .

Jeden z mnoha výukových modelů pro prezentování Vysoké školy Báňské se nachází na Katedře energetiky, a to je fluidní „popkornové“ zařízení, které slouží pro popularizaci fluidního chování při výrobě popkornu. Výroba popkornu je pomalá z důvodu velkého zastoupení lidí a zájemců fluidního spalování na různých výstavách, protože kukuřičná zrna, která zastupují běžné palivo pro fluidní spalování se do zařízení podávají v určitém množství. Odhadem je produkce padesáti kornoutů s popkornem za hodinu. Cílem této bakalářské práce je teoretický návrh kontinuálního dávkování materiálu do fluidního výrobníku popkornu, který slouží k rychlejší produkci a usnadnění práce obsluhy.

Teoretická část se bude zabývat fluidním spalováním, které zahrnuje pojem fluidizace a vznik fluidních vrstev při tomto procesu. Dále bude obsahovat koncepci fluidních kotlů. V další kapitole teoretické části se budu věnovat dopravníkům materiálu bez tažného elementu, kde popíšu jejich funkci transportního procesu pro dopravu materiálu.

V praktické části bude nejdříve pro seznámení s problematikou popsán současný výukový model fluidního zařízení. Další kapitola bude obsahovat návrh systému přehřevu, který zahrnuje stanovení vhodné teploty materiálu před vstupem do reaktoru. Dále se práce zabývá jednotlivými komponenty sloužící pro systém přehřevu materiálu. Dalším krokem bude návrh kontinuálního dávkování do fluidního výrobníku popkornu, který následně vytvořím v programu Autodesk Inventor Professional 2018. Posledním bodem praktické části bude návrh odvodů materiálu z reaktoru zařízení a následně bude vytvořena 3D vizualizace systému ve stejném programu jako v předchozí kapitole.

2 Fluidní spalování

Fluidní kotel je zařízení, ve kterém probíhá proces spalování tuhých, tekutých i plyných paliv ve fluidní vrstvě. Pomocí tohoto procesu spalování získáváme potřebnou tepelnou energii k výrobě páry, elektrické energie nebo k vytápění. Dnes jsou kotle zvláště používány v oblasti malých a středních zdrojů energie. [1]

Fluidní spalování je velice široký pojem. Obecně je možno pod tento odborný výraz zahrnout každou oxidační reakci prováděnou ve fluidní vrstvě. [2]

V užším pohledu je spalování vždy chápáno v souvislosti s hořením paliva, přičemž konečným cílem je přeměna chemické energie paliva v tepelnou energii. Hlavním účelem tohoto procesu spalování je dosáhnout nejpříznivější účinnosti této energetické přeměny. Tepelná energie je poté využívána především k výrobě páry. [2]

Výhodou technologie fluidního spalování je její všestrannost spalovaného paliva, jelikož paliva mohou být v pevném, plyném nebo tekutém skupenství. Jednou z možností je, že tato paliva mohou být spalována ve fluidní vrstvě současně v jakémkoliv poměru. Prvořadými parametry je jejich celková hmotnost a výhřevnost. [2]

Fluidní spalování v ohništích představuje v dnešní době moderní a účinný způsob spalování drceného paliva ve fluidní vrstvě. Tato technologie se liší oproti roštovým kotlům tím, že paliva jsou podávána s poměrně větší granulometrií. Ve fluidní vrstvě se drcené palivo s vzestupným proudem spalovacího vzduchu (fluidizačním médiem) a správně vybraném spalovacím prostorem počíná jako vroucí kapalina. Zrna paliva postupným vyhoříváním mění svůj objem a vzniklý popílek je proudem vzduchu (tzn. relativní silou) vynášen do určité výšky fluidizující vrstvy, směšují se, nebo cirkulují a jejich energie je využívána efektivněji. [1, 7]

2.1 Fluidizace

Pojem fluidizace můžeme také definovat jako vznášení pevných částic dynamickým účinkem proudícího média, přičemž proudící médium (fluidizační médium) protéká a zároveň je v ideálním styku s celým povrchem pevných částic a tím dochází k dokonalému sdílení tepla. Proudícím médiem pro fluidní spalování je používán plyn, nejčastěji vzduch, který je přiváděn přes porézní přepážku (rošt), nad níž probíhá fluidizační děj ve spalovací komoře. V průmyslu je tato technika převážně spojována se spalováním uhlí, ale může být také uplatněna celá řada ostatních fluidních technik pro chlazení, směšování, sušení, třídění zrnitého materiálu, spalování práškových hmot, tak i dokonce v chemických reaktorech při katalytických reakcích. [3, 6, 26, 27]

2.2 Fluidní vrstva

Ve fluidizační komoře vzniká fluidní vrstva pomocí hmotných částic zrnité látky (popř. uhelných zrn, písek, rostlinná semena), které jsou uloženy na roštu neboli na děrované

přepážce. Začne-li se pod rošt přidávat fluidizační médium (vzduch), které bude od počátku procházet vrstvou do specificky dané rychlosti, při níž se náhle vrstva začne rozšiřovat v objemu, a tím uvádí částice paliva do pohybu. Mobilita je jedna ze základních charakterů fluidní vrstvy, kvůli které se chová jako kapalina. Částice vrstvy jsou ve styku s médiem a dochází ke vzájemnému intenzivnímu mísení a vlivem toho dochází k fyzikálně-chemickým procesům ve fluidní vrstvě, zejména k přestupu tepla a hmoty. To je také jeden ze zásadních faktorů, proč je spalování ve fluidní vrstvě využíváno. Přibližuje-li se tvar hladiny fluidní vrstvy ke skutečné kapalině, potom tedy fluidní vrstva má analogickou až identickou vlastnost jako kapalina skutečná (viz. Obr.2.1). Na tělesa ponořená ve fluidní vrstvě působí vztlačová síla (viz. Obr.2.1 (a)). Bude-li na hladině fluidní vrstvy plavat těleso nebo se bude potápět dolů směrem k roštu podle své vlastní hustoty, úroveň hladiny fluidní vrstvy bude vždy horizontální (vodorovná) a kolmá k tíhové síle tělesa (viz. Obr. 2.1 (b)). Z důvodu působení hydrostatické síly na stěnu fluidní komory lze část objemu fluidní vrstvy vypustit různými otvory (viz. Obr. 2.1 (c)). Jestliže jednu vrstvu propojíme s druhou fluidní vrstvou, tak dojde k vyrovnání hladin vrstev (viz. Obr. 2.1 (d)). [2, 3, 26, 27]



Obrázek 2.1 - Charakteristiky fluidní vrstvy [3]

2.3 Typy fluidních vrstev

V odborné praxi se můžeme setkat s mnoha typy fluidních vrstev, které na základě svých charakteristických kritérií je lze rozdělit na rovnoměrné (viz. Obr.2.2 (a, b, c)) a nerovnoměrné fluidní vrstvy (viz. Obr.2.2 (d, e, f, g, h)). Mezi hlavní kritéria patří kontakt mezi pevnými částicemi a protékajícím médiem, kde rychlost, viskozita protékajícího média, konstrukce roštu, výška a tvar fluidní vrstvy mají vliv na parametry fluidní vrstvy. [1, 2, 3, 26, 27]

Pokud tekutina nebo plyn prochází směrem vzhůru vrstvou zrnitých částic materiálu ve fluidizační komoře, tak při nízké proudící rychlosti tekutina pouze proniká prázdnými

prostory mezi částicemi zrnitého materiálu a ty zůstávají v nehybném stavu (viz. Obr.2.2 (a)). [1, 2, 3, 26, 27]

Při stálé větší rychlosti, je dosaženo bodu právě tehdy, jestliže jsou všechny částice zrnitého materiálu nadnášeny vzestupně proudícím plynem nebo tekutinou. Tato nastávající fluidní vrstva je považována jako minimální fluidní vrstva (viz. Obr. 2.2 (b)). [1, 2, 3, 26, 27]

V energetice je obzvlášť využívána vroucí fluidní vrstva u fluidních ohnišť. Tekutina prochází fluidní vrstvou ve formě malých bublin a stálost hladiny lože vypadá jako vroucí tekutina. (viz. Obr. 2.2 (c)). [1, 2, 3, 26, 27]

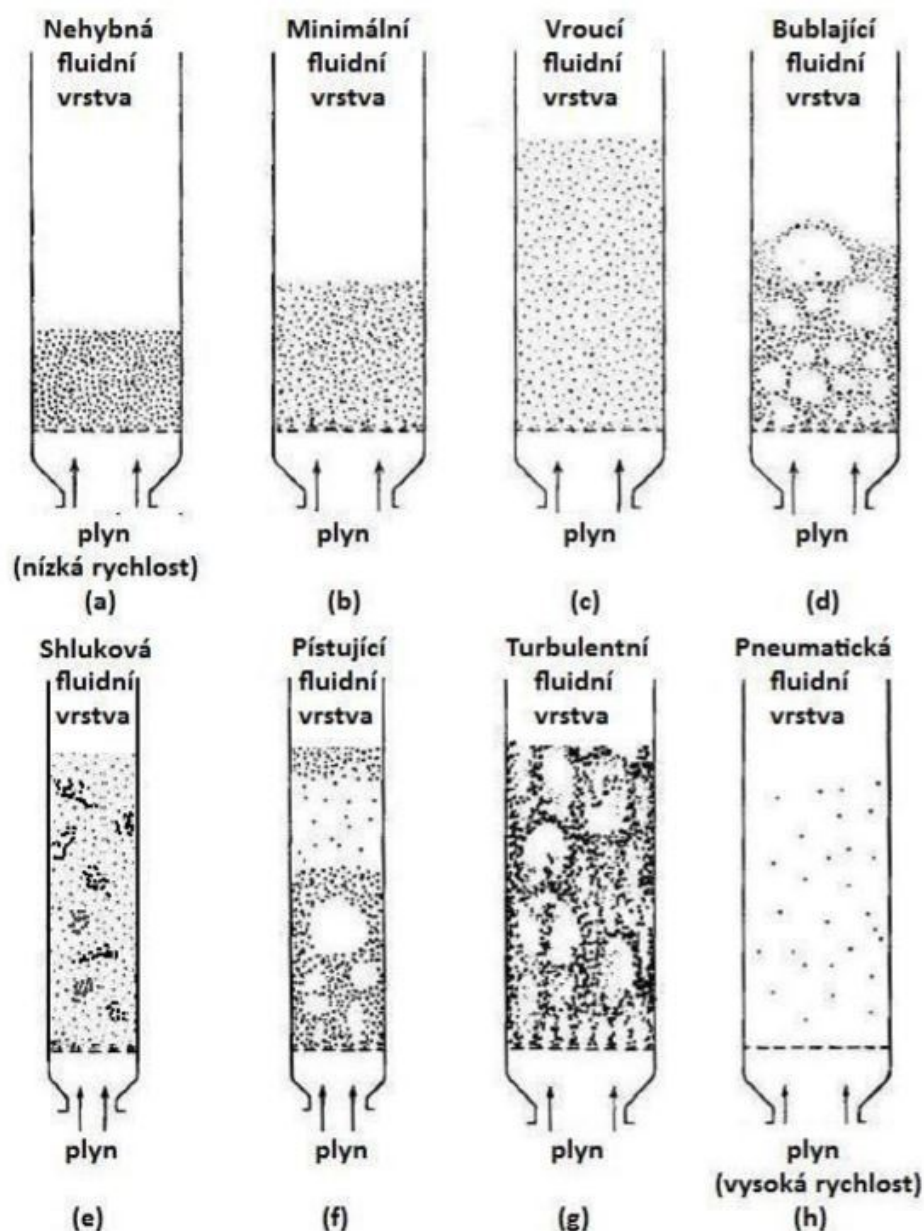
Se zvýšením průtoku vzduchu vrstva silně pulsuje a z vroucí tekutiny se vytváří větší bubliny, které jsou svým průměrem menší než průměr spalovací komory a jsou různorodé. V oblasti technické praxe patří bublající vrstva mezi nerovnoměrné fluidní vrstvy a svojí charakteristikou je nežádoucí, jelikož v tomto procesu nedochází k dokonalému přestupu tepla a dochází zde k vymršťování zrn z lože, což může způsobit větší úlet. (viz. Obr.2.2 (d)). [1, 2, 3, 26, 27]

Typickou charakteristikou pro shlukovou fluidní vrstvu je malá střední koncentrace částic (viz. Obr. 2.2 (e)). [1, 2, 3, 26, 27]

Mezi nerovnoměrné fluidní vrstvy patří také pístující fluidní vrstva (viz. Obr. 2.2 (f)). Tato vrstva se projevuje menším mísením a dochází k horšímu spalování i přenosu tepla. Fluidní vrstva se většinou vyskytuje při malém příčném průřezu a vysoké výšce ve fluidní komoře. Tento typ je začleněn mezi bublající vrstvy. Vzniklé bubliny se v trubici ve svislém směru postupně zvedají od roštu a jejich objem prudce expanduje. Na hladině vrstvy se bubliny rozpadnou, přičemž u roštu vznikají nové a celý proces se opakuje. [1, 2, 3, 26, 27]

Postupnou nabývací vstupní rychlostí proudící tekutiny vzniká v dané úrovni bodu turbulentní fluidní vrstva (viz. Obr. 2.2 (g)). [3]

Poslední fluidní vrstvou je vrstva pneumatická (viz. Obr. 2.2 (h)). Pevné částice jsou dopravovány spolu s médiem z fluidní komory při maximální rychlosti fluidizačního média do cyklonového odlučovače, ve kterém dojde k odtrhnutí pevných částic, a potom jsou transportovány zpět do fluidní komory. [3, 26, 27]



Obrázek 2.2 - Typy fluidní vrstvy [3]

2.4 Koncepte fluidních kotlů

Proces fluidního spalování ve fluidních kotlích závisí zejména pro jaký účel bude daný kotel postaven. Z hlediska vlastností fluidních vrstev můžeme fluidní kotle řadit se stacionární fluidní vrstvou, cirkulující a expandující fluidní vrstvou. Kotle, také rozdělujeme dle jejich teplotního rozsahu, a to na fluidní kotle se škvárujícím procesem a kotle s bezškvárovým procesem. V technické praxi mezi těmito procesy je přechodová teplota fluidních vrstev okolo 1000 [°C]. [4, 26, 27]

2.4.1 Fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou

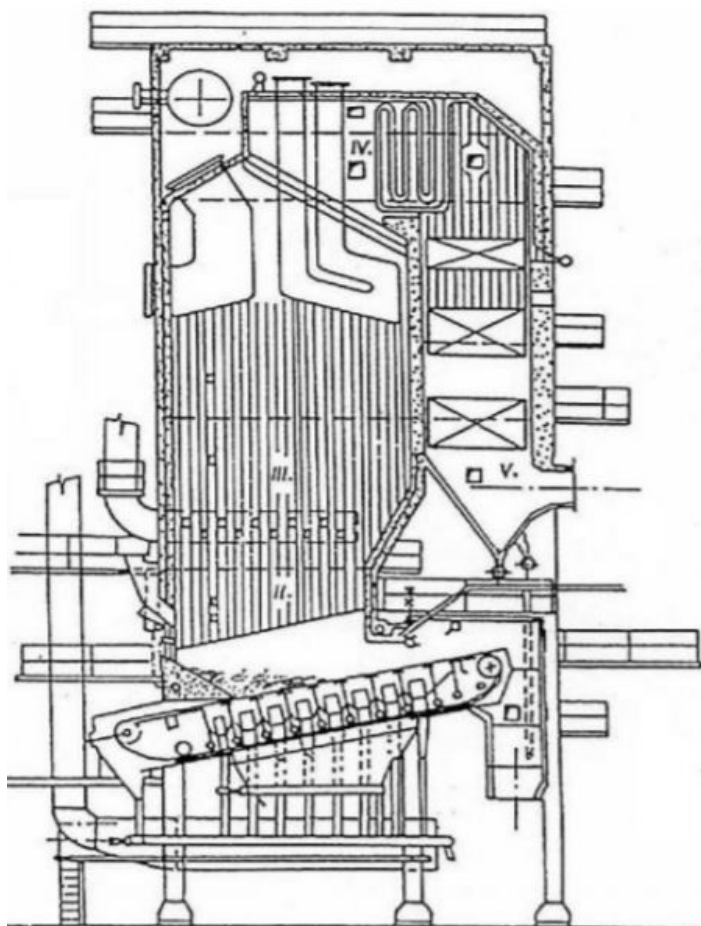
Stacionární fluidní kotle někdy bývají označovány jako bublající. Tento typ kotle se vyznačuje výraznou hladinou a vysokým úletem částic z fluidní vrstvy, které jsou odstraněny do předem určených zásobníků anebo mohou být odvedeny zpět do fluidní vrstvy. Tyto kotle mohou pracovat na dva způsoby: spalovacím nebo zplyňovacím režimem. Rozdílem mezi těmito režimy je součinitel přebytku vzduchu α . [4, 26, 27]

Ve spalovacím režimu je stacionární fluidní vrstva tvořená z inertního materiálu, který obsahuje 95 ÷ 98 [%] stacionární vrstvy. Zbytek stacionární fluidní vrstvy tvoří palivo v intervalu 2 ÷ 5 [%]. Při tomto spalovacím procesu kotel pracuje s přebytkem vzduchu $\alpha > 1$. Teplota fluidní vrstvy se pohybuje v rozmezí 850 ÷ 900 [°C] a zároveň musí být řízena tak, aby nemohlo dojít k natavení povrchu inertního materiálu. Z tohoto důvodu jsou uvnitř fluidní vrstvy ponořeny teplosměnné plochy, které teplotu regulují. [4, 26, 27]

Ve zplyňovacím režimu je fluidní vrstva složená z paliva, které obsahuje 20 [%] fluidní vrstvy. Zbytek stacionární fluidní vrstvy je složena z 80 [%] inertního materiálu. Z důvodu „nedokonalého“ spalování se z fluidní vrstvy částečně uvolňují plyny (především CO). Tyto plyny následně vyhořívají se sekundárním vzduchem ve II. stupni kotle. V tomto procesu je přebytek vzduchu $\alpha < 1$. Základním faktorem pro regulaci teploty je množství fluidního vzduchu. [4, 26, 27]

Nezvyklým druhem tohoto spalovacího procesu je jednostupňové ohniště se škvárující fluidní vrstvou. V České republice je tento druh kotle převážně známý jako IGNIFLUID (viz. Obr. 2.5). Z velké části je tato fluidní vrstva složena z částic paliva ve tvaru černých, kalorických zrn uhlí o velikosti 20 [mm]. Zrna uhlí při teplotě 1100 ÷ 1200 [°C] a přebytkem sekundárního vzduchu $\alpha < 1$ vstupují do fluidní vrstvy, kde následně se sekundárním vzduchem a vyhořívají nad fluidní vrstvou o teplotě 1200 ÷ 1300 [°C]. Spečené ostatky popelovin a neodplyněné částice paliva dopadají pomocí gravitační síly směrem dolů k pásovému roštu, a potom jsou přemístěny ven z kotle. [4, 26, 27]

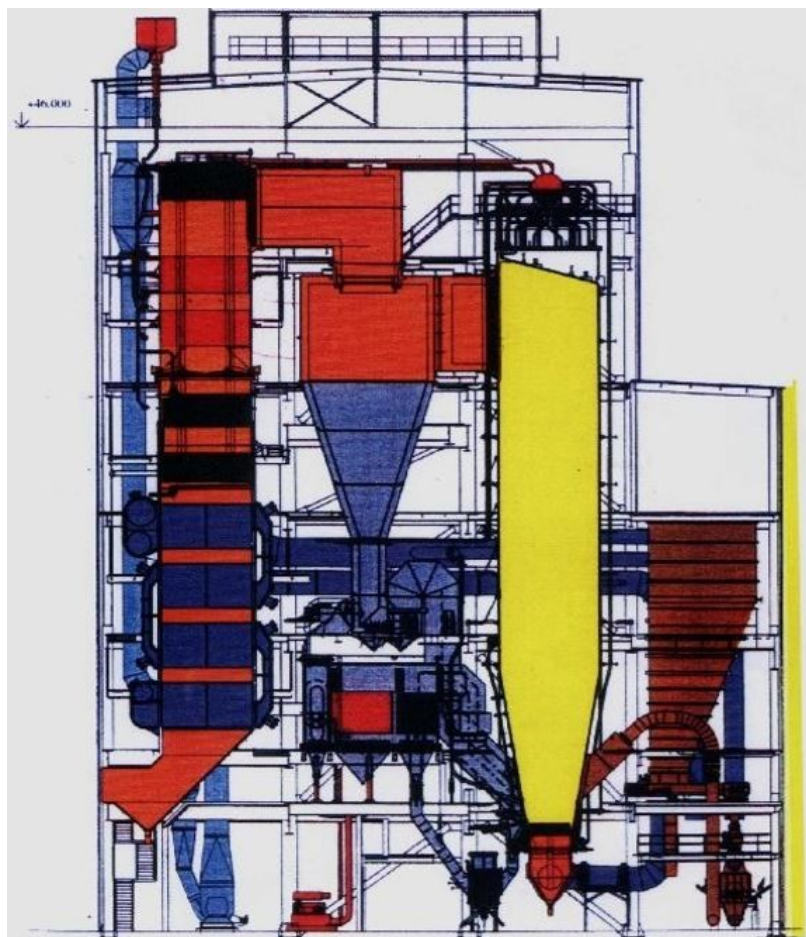
Postupem času se v praxi zjistilo, že fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou způsobují velký úlet jemných částic (paliva nebo inertu), větší produkci emisí CO a špatnou regulaci teploty fluidní vrstvy. [4, 26, 27]



Obrázek 2.3 - Schéma fluidního kotle IGNIFLUID [4]

2.4.2 Kotle s cirkulující fluidní vrstvou

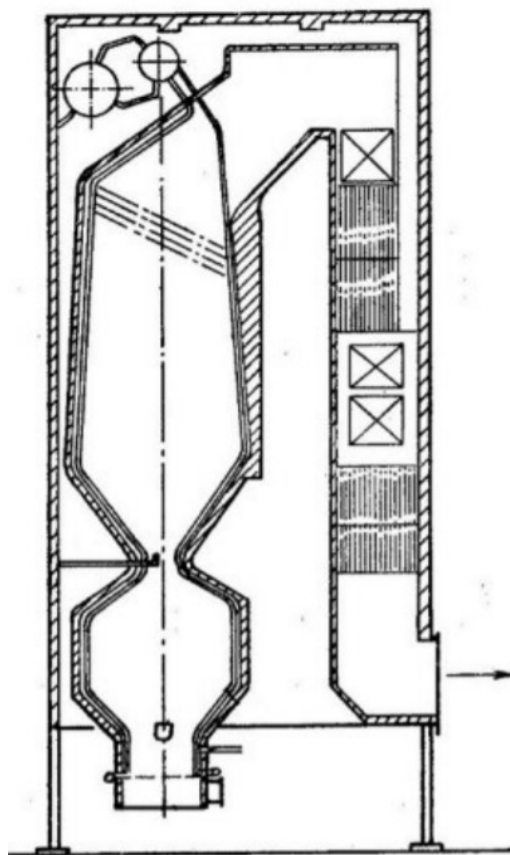
Kotle s cirkulující fluidní vrstvou mají především oproti stacionárním fluidním kotlům zvětšenou výšku spalovací komory, kde fluidní vrstva mnohonásobně cirkuluje. Cirkulace vrstvy probíhá mezi ohništěm a cyklónovým odlučovačem. Při tomto procesu se vrstva charakterizuje s menší granulometrií paliva a vyšší rychlostí fluidizace. V cyklónovém odlučovači jsou odloučeny částice paliva z fluidní vrstvy, které opět odlétají zpátky do fluidní vrstvy. Při tomto ději se postupem času zjistilo, že dochází ke zlepšení dohořívání paliva a zmenšení ztrát mechanického nedopalu. Nevýhodou tohoto kotle je, energetická náročnost a zředěnější vrstva. [4, 26, 27]



Obrázek 2.4 - Schéma cirkulujícího kotle K12 v ENERGETICE Třinec [4]

2.4.3 Kotle s expandující fluidní vrstvou

Tyto fluidní kotle se vyznačují zejména cirkulací fluidní vrstvy mezi roštem a krajem ohniště. Z tohoto důvodu se mohou tyto kotle nazývat také jako kotle s vnitřní cirkulací, protože tento proces cirkulování nastává ve fluidní komoře. V České republice je tento typ představován jako systém DUKLAFLUID a dělí se na dva typy dvoustupňového fluidního ohniště. První typ je především reprezentován tím, že fluidní ohniště je připojeno bočně ke spalovací komoře. U druhého typu je pod spalovací komorou umístěn ve spodním segmentu fluidní zplyňovací reaktor (viz. Obr 2.5). Obě komory jsou od sebe rozděleny úzkým prostorem. Kotle DUKLAFLUID spalují hlušinu, tekuté odpady a uhlí s vysokou koncentrací popelovin a výhřevností vyšší jak 5 [MJ/kg]. [1, 8, 26, 27]



Obrázek 2.5 - Schéma fluidního kotle druhého typu DUKLAFLUID [8]

3 Teorie dopravníků materiálu

V průmyslu je neoddělitelnou součástí manipulace s materiálem. Využíváme k tomu dopravní neboli transportní zařízení, které jsou určeny k přemístění materiálu v horizontálním, vertikálním nebo nakloněném směru. Tento proces má především vliv na ekonomiku a bezpečnost práce v různém průmyslovém odvětví (strojírenství, stavebnictví atd.). [9]

Dopravní a manipulační zařízení dělíme podle několika způsobů dopravy materiálu např. podle dráhy a jejího naklonění, manipulovaného materiálu, působení sil na daný materiál, unášecího prostředku atd. [9, 10]

Zjednodušeně můžeme rozdělit dopravní zařízení do několika úseků. [9]

- a) Dopravníky s tažným elementem – pásové, lanopásové, řetězové, korečkové, podvěsné dopravníky,
- b) dopravníky bez tažného elementu – šnekové, vibrační dopravníky a dopravní tratě,
- c) doprava vlastní tíhou – skluzy přímé, skluzy šroubovicové,
- d) doprava v potrubí – hydraulická, pneumatická.

V této kapitole se budu věnovat především k dopravním zařízením s tažným elementem a bez tažného elementu, jelikož se budu v praktické části zabývat kontinuální dopravou materiálu.

3.1 Dopravníky bez tažného elementu

Při tomto procesu je hlavní silou pohybu změna potenciální a kinetické energie. Do této skupiny náleží tyto dopravní zařízení: Vibrační dopravník, Šnekový dopravník, Válečkové tratě. Každý dopravník z této skupiny je vyhovující pro jiný případ převáženého materiálu. [10, 25]

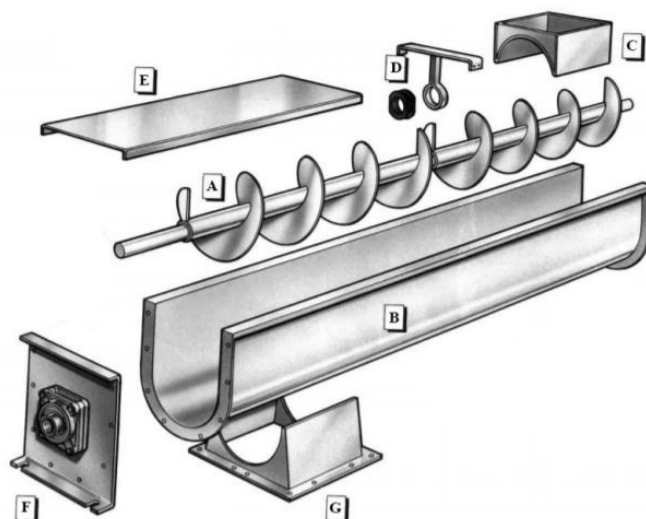
3.1.1 Šnekové dopravníky

Šnekový dopravník slouží k dopravě sypkého materiálu v horizontálním, vertikálním a šikmém směru. V pracovním prostoru je uložena tzv. šnekovnice, která rotuje ve zpevněné části šnekového dopravníku, v tzv. žlabu. Materiál se přemísťuje vlivem rotačního pohybu hřídele, který přenáší krouticí moment na šnekovnici. Šnekový dopravník patří mezi nejstarší typy dopravníků, proto je jeho konstrukce velmi prostá a jsou vhodné pro krátké dopravované vzdálenosti. Mezi základní části šnekového dopravníku patří šnek, žlab a poháněcí jednotka (viz. Obr. 3.1). [9, 10, 25]

Poháněcí jednotkou jsou elektromotory s nastavitelnou regulací otáček (frekvenční měnič). Podle směru pohonu se šnekové dopravníky rozdělují na tažné a tlačné. U tlačného pohonu dopravníku je materiál přemísťován od směru pohonu. Jestliže je materiál přemísťován k pohonu, potom je pohon tažný. [9, 10, 25]

Dalším důležitým komponentem šnekového dopravníku je šnek, který se skládá z hřídele a šnekovnice. Šnekovnice bývá zhotovena do několika způsobů provedení. Může být plná, obvodová, lopatková, kuželová. Dále podle způsobu stoupání, a to konkrétně pravotočivé, levotočivé nebo kombinované stoupání. [9, 10, 25]

Nosnou a pevnou částí dopravníku je žlab, ve kterém se pohybuje materiál. Žlab je zhotoven v kruhovém průřezu nebo v průřezu ve tvaru “U“. Výhodou šnekových dopravníků je těsnost v tomto zařízení, kde je žlábek vyplněn těsnícím materiálem. Vlivem výplně žlábků se žlab charakterizuje vzduchotěsností, vodotěsností a prachotěsností. Dopravovaný materiál je přiváděn z horní části šnekového dopravníku směrem dolů pomocí přiváděcích otvorů ve víku, je-li žlab krytý. [9, 10, 25]



A) Šnekový hřídel, B) Dopravní žlab, C) Vstupní příruba, D) Závěsné ložisko šnekového hřídele, E) Víko, F) Koncové ložisko šnekového hřídele (ložisko pohonu), G) Výstupní příruba

Obrázek 3.1 - Konstrukce šnekového dopravníku [14]

3.1.2 Vibrační dopravníky

Dalším typem dopravníků poháněné bez tažného elementu jsou vibrační dopravníky, které dopravují práškový a sypký materiál vodorovným nebo šikmým směrem pro krátké vzdálenosti. Žlaby využívají setrvační síly pomocí periodicky kmitavých pohybů a při určité fázi se materiál odloučí od žlabu. [9, 10, 25]

S vibračními dopravníky se setkáváme ve všech průmyslových odvětvích. Při tomto procesu může být přeprava materiálu spojena i s jinými technologickými postupy jako například sušení, třídění, chlazení apod. [9, 25]

Tento typ dopravníku se charakterizuje těžší konstrukcí, omezenou délkou, finanční náročností, a také dynamickým namáháním a nejsou závislé na teplotě materiálu. V praxi jsou využívány jako pračky, třídiče a vibrační podavače. [9, 10, 25]

3.1.3 Dopravní tratě

Válečkové tratě přepravují kusové materiály pomocí válečků. Válečky konají rotační pohyb kolem os upevněných v rámu dopravníku kolmo na směr přepravy materiálu. Válečková trať (viz. Obr. 3.2) může být realizována podle potřebných požadavků na přímou či obloukovou sekci. Tento typ dopravníku je stanovený pro přepravu kusových materiálů ve výrobních a dopravních linkách, skladech atd. Konstrukce dopravníku je nenáročná na výrobu a skládá se ze dvou komponentů, z rámu a válečků. Rozměry válečků jsou normalizovány a jejich rozteč se volí podle rozměrů kusových materiálů a to tak, aby byl materiál v kontaktu minimálně se dvěma válečky. [9, 10, 12, 25]



Obrázek 3.2 - Válečková trať [15]

Válečkové dopravníkové tratě rozdělujeme na dva typy podle pohonu válečků. V prvním případě se jedná o dopravníky gravitační, kde jsou válečky poháněny tíhovou silou a převážně jsou postaveny pod úhlem sklonu $1,5 \div 5 [^\circ]$. Válečky jsou zajištěny třecí brzdou nebo nosným brzdícím válečkem, který slouží pro zpomalení přepravovaného kusového materiálu. Tyto dopravníky se objevují v potravinářském, chemickém průmyslu, dále na poště, ve skladech. Obvykle jsou využívány pro přepravu krabic, palet a jiných kusových materiálů. [9, 10, 25]

V druhém případě jsou válečkové tratě poháněny vlastním pohonem nebo společným řetězem. Využití řetězového pohonu se vyskytuje u dopravních funkcí. Naopak využití dopravníků s vlastním pohonem, tedy pracovní, nachází uplatnění v provozu, který je potřebný pro technologický postup. [9, 10, 25]

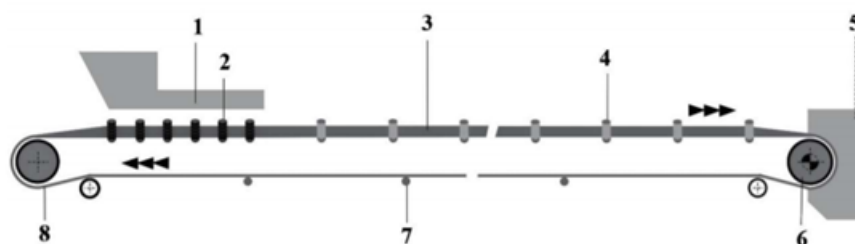
3.2 Dopravníky s tažným elementem

Dopravníky jsou poháněny energií pohonu (elektromotoru), kterou přenáší na unášecí prostředek, proto se nazývají jako dopravníky s tažným elementem. Zde se řadí dopravníky pásové, lanopásové, řetězové, korečkové, podvěsné. [10, 25]

3.2.1 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky (viz. Obr. 3.2) se využívají pro stálou přepravu kusových zboží, sypkého materiálu v horizontálním nebo mírně ukloněném směru, jehož unášecím členem je nekonečný dopravní pás, který obíhá mezi hnacím a tažným bubnem a jsou doplněny dalšími konstrukčními komponenty potřebné pro chod dopravníku. [9, 10, 25]

Pásové dopravníky se řadí mezi nejrozšířenější zařízení pro přepravu materiálů, jejichž výhodou je stálá doprava, velký výkon, nenáročná údržba stroje, malé nároky na spotřebu energie, bezhlučný a spolehlivý provoz a velká dopravní vzdálenost. Nevýhodou těchto zařízení je údržba rotujících částí a omezená úklonná doprava, kde dopravníky mohou mít maximální úklon v rozmezí $12 [^\circ]$ až do $23 [^\circ]$. [9, 10, 25]



1. Násypka, 2. Dopadové válečky, 3. Dopravní pás, 4. Horní nosné válečky, 5. Přepad materiálu, 6. Hnací buben, 7. Dolní vratné válečky, 8. Vratný buben

Obrázek 3.3 - Pásový dopravník [16]

Pásový dopravník rozdělujeme do dvou základních druhů. Na pásový dopravník pro dálkovou dopravu a v druhém případě se jedná o dopravník pro technologickou dopravu. Dále dopravníky rozdělujeme dle svých charakteristických znaků, jako například tvaru dopravníku, konstrukce nebo podle tažného prvku. [9, 10, 25]

Dopravní pás je základním prvkem pásových dopravníků. Je to uzavřený (nekonečný) prvek, který obíhá kolem bubnů na předurčené dopravované délce, po které je dopravován materiál a současně přenáší pohybové odpory, které vznikají za chodu stroje. Podle typu dopravy materiálu se pásy vyrábí dle technologických požadavků. Obvykle se mění materiál, rozměr a tvar pásu. Požadované vlastnosti pásu jsou: vysoká životnost, odolnost proti otěru, odolnost proti proražení pásu, vysoká podélná tuhost a schopnost odolávat střídavému namáhání. Podle namáhání a dopravy materiálu lze rozdělit pásy na gumové a ocelokordové. [10, 11, 17, 25]

Jedním z dalších důležitých prvků jsou válečky, které tvoří část nosné konstrukce a podpírají a vedou pás. Obvykle jsou zhotoveny z ocelových trubek a ve shodné ose jsou ocelové trubky umístěny v kuličkových ložiskách s tukovou náplní uzavřenou těsněním. [9, 25]

3.2.2 Lanopásový dopravník

Lanopásový dopravník je zařízení, jehož nosnou částí je speciální pryžový pás, který je unášen dvěma nekonečnými lany v nosné i vratné větvi. Mezi dopravním pásem a dvěma lany vzniká tření, které ovlivňuje pohyb pásu. Tento dopravní prostředek pracuje v horizontální nebo šikmé poloze a je vhodný pro sypké materiály. [9]

Výhodou těchto dopravníků je tišší chod stroje, menší odpory, doprava do velkých vzdáleností, stabilní tažné prvky. Nevýhodou těchto zařízení jsou vyšší investiční náklady a konstrukční náročnost. [9]

Jednou z hlavních částí dopravníku je poháněcí stanice, která má dva třecí kotouče poháněné asynchronním motorem. Na druhém konci dopravníku je vratná stanice, která slouží jako napínání pásu, aby se tak zabránilo k nadměrnému průhybu. Závaží slouží k napínání lan dopravníku, které tvoří tažný prvek. Za pomoci podpěr je tvořena trať dopravníku, ve kterých jsou rotující kuličkové ložiska, která otáčejí nosné kladky. Nosnou část tvoří jednovložkový dopravní pás s příčně vloženými prvky z pérové oceli. [9]

3.2.3 Korečkové elevátory

Korečkový dopravník je zařízení, které dopravuje zrnité nebo malé kusovité materiály ve svislém nebo šikmém směru, jehož dopravní výška je omezená unášecím elementem. Obvykle tato zařízení dopravují materiál až do 40 [m] při použití řetězů. Jestliže je unášecím elementem dopravní pás, dopravní výšky dosahují až 200 [m] a dopravníky jsou schopny dosáhnout vyšších rychlostí a výkonů. [9, 10, 25]

K unášecímu elementu jsou upevněny korečky, které slouží k dopravě materiálu. Korečky obvykle bývají ve tvaru nádoby a jsou technologicky upravené ze svařovaných, lisovaných plechů nebo jsou odlévány. Mohou se vyskytovat i v plastové formě. Korečky jsou vyráběny podle typu materiálu, který dopravují a jejich tvar závisí na tom, jak budou korečky vyprazdňovány. Jednou z hlavních částí elevátoru je unášecí element, který může být jako dopravníkový gumový pás nebo z jednoho až dvou řetězů. Dopravní zařízení je uloženo v chodbě (šachtě), sloužící k dopravě materiálu a v hlavě elevátoru se nachází poháněcí systém. Napínací segment je uložen v patě elevátoru. Existuje několik způsobů, kterými lze naplnit korečky. Prvním způsob je hrabání. Dále lze naplnit korečky nasypáváním nebo oběma způsoby zároveň. Vysypávání materiálu z koreček je docíleno gravitačním nebo odstředivým způsobem. [9, 10, 17, 18, 25]

V dnešní době se častěji vyskytují korečkové elevátory v potravinářském a chemickém průmyslu. Relativně pozitivním přínosem je nízká spotřeba energie, malý vestavěný prostor a výkon. Negativním přínosem může být malá dopravní výška. [9, 25]

3.2.4 Článekové dopravníky

Článekové dopravníky se řadí mezi řetězové dopravníky, jejichž tažným elementem mohou být až dva nekonečné řetězy. Unášecím elementem bývá článekové dopravní pásmo. K tažnému elementu je upevněný unášecí systém a dohromady tvoří pás dopravníku, který je ohebný a schopný procházet horizontální a vertikální oblouky. [9, 10]

Tyto dopravníky se využívají pro přepravu sypkých a kusových materiálů v horizontálním nebo šikmém směru, jejichž úklon může dosahovat až 20 [°]. Sypké materiály mohou být přepravovány za vysokých teplot až do délky 100 [m]. [9]

Mezi hlavní komponenty tohoto zařízení patří poháněcí stanice, vratná stanice, nosná konstrukce a článekové pásy s tažnými řetězy. Poháněcí systém (stanice) je z asynchronního

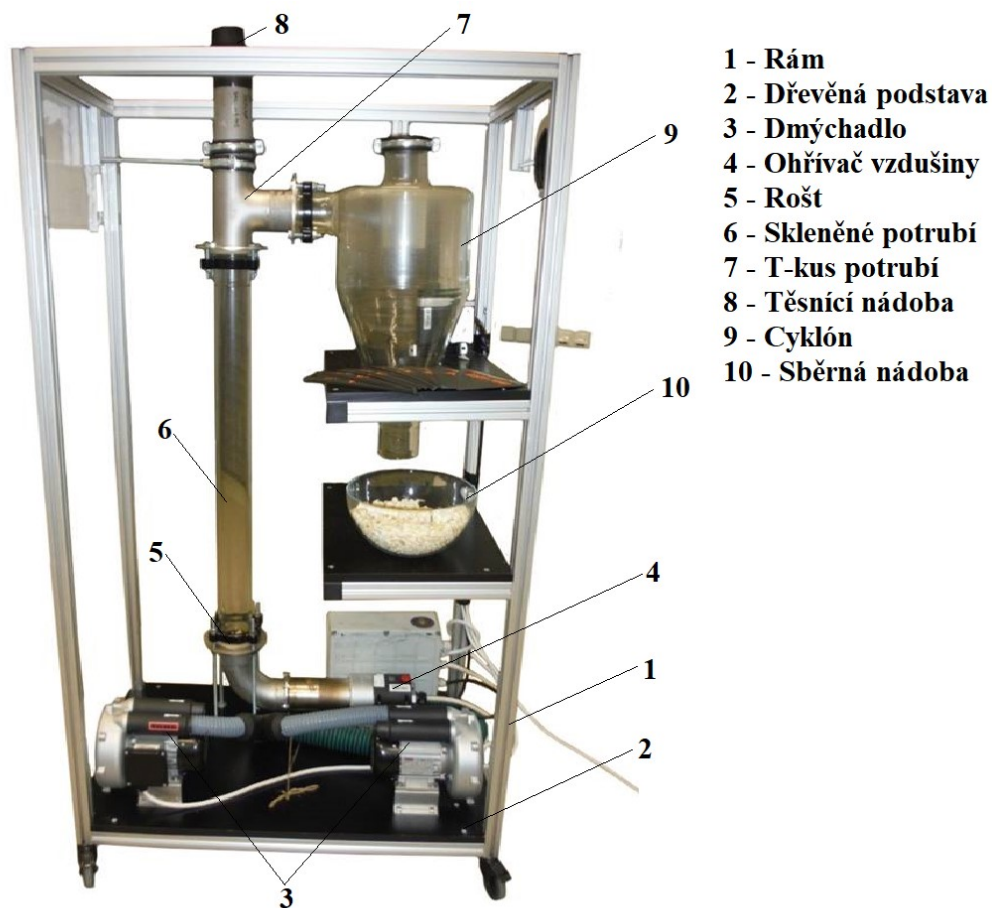
motoru, který pohání buben s řetězovým kolem. Řetězový buben také slouží jako napínací prostředek, který je umístěn v ložiskách v posuvných komorách ve vratné stanici. [9]

Na typu přepravovaného materiálu závisí především vhodně zvolený článkový pás, který je sestaven z jednoduchých článků, podpěrných kladek a tažných řetězů. Šířka článků se obvykle volí podle typu přepravovaného materiálu, které bývají lisovány do tloušťky $3 \div 4$ [mm]. Kusové zboží je přepravováno na člancích o šířce $80 \div 100$ [mm] a u sypkých materiálů bývá šířka až do 2000 [mm]. [9]

4 Popis současného fluidního zařízení

Fluidní „popkornové“ zařízení (viz. Obr. 4.1) se nachází na Technické univerzitě v Ostravě na Katedře energetiky. Pro přiblížení problematiky bakalářské práce se tato kapitola věnuje popisu jednotlivých komponentů a principu fungování současného zařízení v praxi.

Zařízení je uchyceno v rámové konstrukci z hliníku, která je opatřena kolečky s brzdou k zamezení pohybu. Podstavu tvoří dřevěná deska pro vyšší pevnost rámu, na kterém je upevněno zařízení. Na spodní straně konstrukce jsou umístěna dvě dmychadla v paralelním zapojení, která slouží jako zdroj fluidizačního média (vzduch). Tyto dmychadla zajišťují dostatečnou rychlost a průtok proudícího vzduchu k dopravě popkornu do cyklónu, jejichž výkon se reguluje pomocí frekvenčního měniče. Z dmychadel je vzduch dopravován přes ohříváč vzdušiny, který je regulován pomocí teplotního regulátoru a ohřáté médium pokračuje skrze nerezové potrubí proudící přes rošt zařízení. Na rošt jsou dopravována kukuřičná zrna, která zastupují palivo pro fluidní spalování. Běžné množství paliva dopravovaného na rošt bývá zhruba ve 250 [ml] kelímku. Zrna jsou dopravována na rošt z vrchní části zařízení. Vrchní část zařízení tvoří nerezové potrubí ve tvaru „T“. T-kus potrubí má tři hrdla s otvory. Ke dvěma hrdlům jsou upevněny příruby. Vrchní část „T“ potrubí má vstupní hrdlo, ve kterém je uložena těsnící nádoba. Před začátkem pracovního chodu zařízení se nádoba vyjme a palivo se nasype přes vstupní hrdlo potrubí a přes skleněné potrubí je transportováno přímo na rošt. Proudící médium se dostává do styku s kukuřičnými zrny. Zrna ztrácí svou vlhkost, začne v nich vařit voda a tlak v jádře zrna způsobí puknutí zrn a dochází k úletu materiálu. Proudící médium s dostatečnou rychlostí a průtokem vzduchu dopraví popkorn přes skleněné potrubí do cyklónu. Materiál se tangenciálně pohybuje v cyklónu a vlivem gravitační síly padá do sběrné nádoby.



Obrázek 4.1 - Fluidní "popkornové" zařízení [autor]

Jak již bylo zmíněno v této bakalářské práci, je materiál v určitém množství sypaný na rošt. Z tohoto důvodu se tato práce bude v nadcházejících kapitolách věnovat návrhu kontinuálního dávkování, aby tak byl materiál nepřetržitě dopravován na rošt a produkce popcornu byla rychlejší.

5 Návrh systému předehřevu vstupního materiálu

V této kapitole se budu zabývat návrhem systému předehřevu materiálu ve fluidním “popkornovém” zařízení. Výroba popkornu v současném zařízení je v praxi poněkud zdoluhavá. Předehřev materiálu a kontinuální dávkování, kterému se budu zabývat v další kapitole, slouží k rychlejší produkci a usnadnění práce obsluhy. Nejdříve před návrhem systému předehřevu je potřeba znát teplotu materiálu před vstupem do reaktoru. Kontinuální dávkování do reaktoru zařízení nemůže probíhat bez předehřevu kukuřičných zrn. Pokud by materiál nebyl předehříváný, tak jeho doprava na rošt by způsobila zaplnění roštového prostoru, kukuřičná zrna by se ohřívala v delším časovém úseku a mohlo by dojít ke kolapsu zařízení. Proto kukuřičná zrna budou ohřívána na požadovanou teplotu, která bude menší než teplota puknutí, aby tak vstupující materiál vydržel krátkou dobu v reaktoru a došlo k okamžitému puknutí zrn.

5.1 Stanovení vhodné teploty materiálu na vstupu do reaktoru

Stanovení vhodné teploty materiálu bylo provedeno metodou měření za použití termočlánku. Prvním krokem před samotným měřením byla stanovena tři odběrová místa pro termočlánky. První odběrové místo bylo v místě, kde je uložený rošt. Druhé odběrové místo bylo zvoleno těsně nad roštem. Poslední odběr byl proveden v uměle vytvořeném roštu z hliníkové plechovky, ve které byl uložen materiál. Uměle vytvořený rošt byl umístěn nad roštem fluidního zařízení.




Obrázek 5.1 - Odběrová místa [autor]

Teplota ohřátého vzduchu t_{vz} [°C]	Odběrové místo	Teplota puknutí t_p [°C]	Doba ohřevu τ [s]
		Naměřené hodnoty	
190	1	265	41,1
	2	155	48,8
		158,1	52,4
		161,3	55
		157,6	50,1
		163,8	60,8
	3	165,8	101,7
		171,8	112,9
		169,1	105,2
		160,3	92
		162,6	96,1

Tabulka 5.1- Naměřené hodnoty teploty puknutí kukuřic za dobu ohřevu

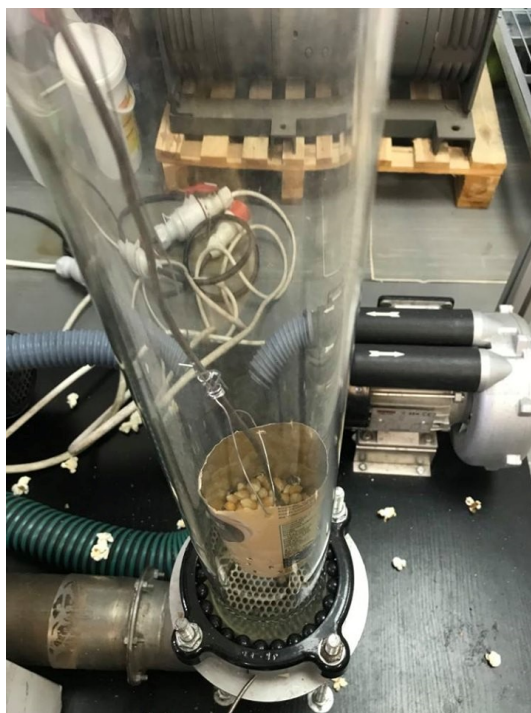
V tabulce (viz. Tab. 5.1) naměřených hodnot lze vidět, že všechna měření byla provedena za stejné teploty ohřátého vzduchu $t_{vz} = 190$ [°C]. Aby měření bylo správné, bylo potřebné, aby ohřívání vzdušiny bylo vypnuté ve stejném časovém úseku před nadcházejícím měřením z důvodu přestupu tepla fluidizačního média na rošt. Při prvním měření, kde se provedl odběr v místě, kde se nachází rošt, bylo naměřeno $t_{p1} = 265$ [°C]. Tento pokus měření byl zamítnut z důvodu vysokého přestupu tepla fluidizačního média na rošt, v jehož blízkosti bylo provedeno měření a došlo k nepřesnému měření teploty puknutí kukuřičných zrn. Ve druhém odběrovém místě byla naměřena teplota puknutí $t_{p2} = 155 - 163,8$ [°C]. Měření ve třetím odběrovém místě bylo provedeno v plechové nádobě. Ze spodní strany plechové nádoby, byly vyvrtány díry v podobě roštu. Nádoba s materiálem byla zavěšena pomocí měděného drátu. Z vrchní strany, kde je v současném zařízení materiál sypán na rošt, byla nádoba uložena nad rošt zařízení. V průběhu ohřívání materiálu, kdy došlo k prvnímu puknutí zrna o teplotě $t_{p2} = 160,3 - 171,8$ [°C], byla vyjmuta nádoba, a potom byla zrna vysypány na rošt fluidního zařízení, kde po několika sekundách došlo k puknutí zrn. Tento druh měření sloužil především k ověření, zdali předeřhřivaná zrna dopravována na rošt vypuknou. Vhodná teplota puknutí materiálu je $155 - 172$ [°C]. Pro předeřhřev materiálu se musí i uvažovat s tepelnými ztrátami v zařízení, kde bude materiál ohříván a zároveň teplota materiálu před vstupem do reaktoru musí být menší než teplota puknutí kukuřičných zrn.

Teploměr Voltcraft		
Typ	PL - 120 - T1	
Výrobce	Conrad Electronic Česká republika s.r.o.	
Napájení	Baterie AAA (3x)	
Maximální teplota	+ 1372 [°C]	
Minimální teplota	-200 [°C]	
Přesnost měření (+/-)	1 [°C]	

Tabulka 5.2 - Parametry teploměru Voltcraft



Obrázek 5.2 - Teplotní čidlo typu 88L40K [28]



Obrázek 5.3 - Měření ve třetím odběrovém místě [autor]

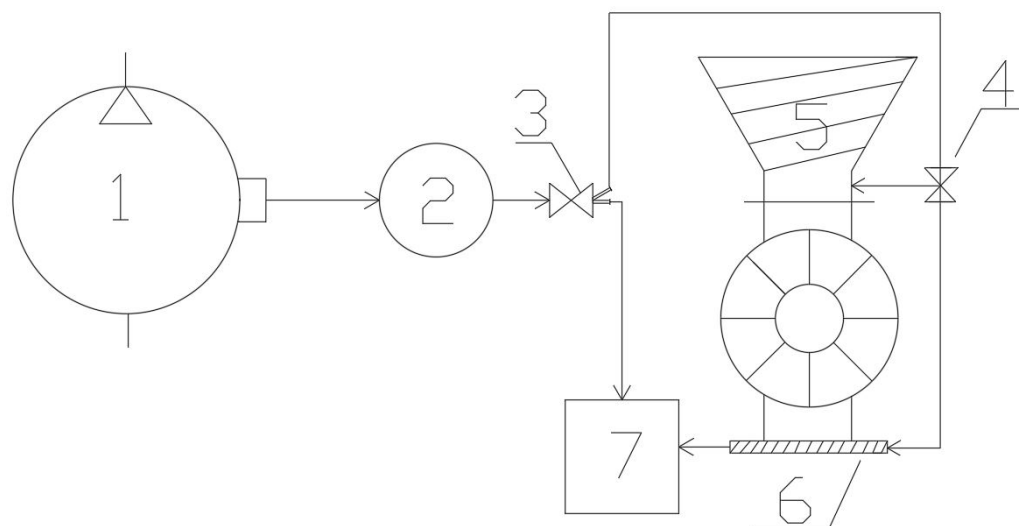
5.2 Předehřívací systém

V současném zařízení je proudící nahřátý vzduch přímo dopravován přes děrovanou přepážku (rošt), který je poháněný dmychadlem a dostává se do styku s kukuřičnými zrn. Při tomto fluidizačním ději dochází k lepšímu promíchávání zrn a dochází k účinnějšímu sdílení tepla. Částečně téhož principu je navržen předehřívací systém, který je podporován i jiným topnými zařízeními, aby docházelo k dokonalému ohřevu zrn.

Na základě různého pozorování a měření na tomto zařízení jsem docílil k rozhodnutí, že nejvýhodnějším způsobem předehřevu materiálu, bude vzduchem vyhříváný zásobník pomocí topného pásu. Také bylo důležité navrhnout systém tak, aby se předešlo komplikované práci při následném realizování tohoto systému a zároveň se docílilo minimální útraty na realizaci. V současném fluidním zařízení se nachází ohříváč vzdušiny a dmychadlo. Tyto komponenty pracují s minimálním výkonem pro výrobu popkornu a jejich výkonné parametry dostačují i pro práci předehřevu materiálu. Proto jsem pro tento návrh využil tyto komponenty, které jsou již v tomto fluidním zařízení.

Schéma předehřívacího systému

Předehřívací systém (viz. obr. 5.4) bude rozdělen na dva směry. Hlavním zdrojem fluidizačního média bude původní dmychadlo (1), které pohání vzduch přes původní ohřívák vzdušiny (2). Dvousměrná symetrická klapka (3) slouží k regulaci průtoku ohříváného vzduchu na dva směry.



1. Původní dmýchadlo, 2. původní ohřívák, 3. dvousměrná klapka, 4. dvousměrná klapka, 5. zásobník s topným pásem, 6. potrubí s topným pásem, 7. rošt

Obrázek 5.4 - Schéma předeřřivacího systému [autor]

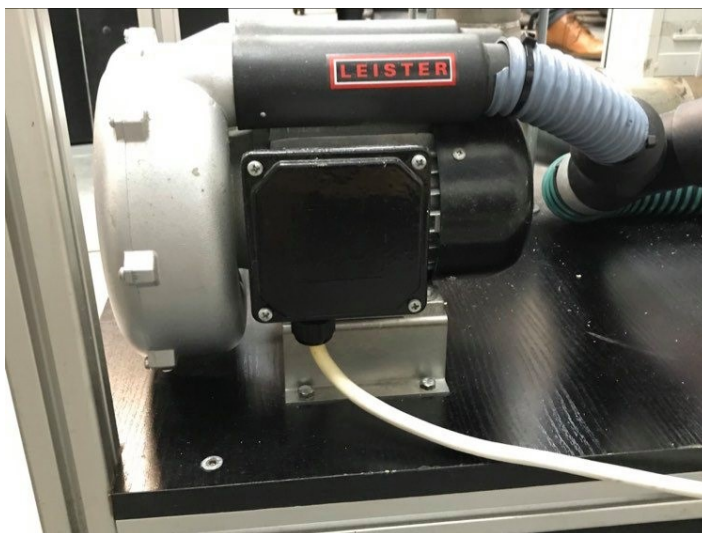
Prvním směrem prochází ohřátý vzduch skrz průmyslovou vysokoteplotní hadici do rozdělovací klapky (4), která bude regulovat průtok vzduchu do zásobníku a skleněného potrubí. Topné pásy (5) budou omotané kolem zásobníku, kde budou dohřívát jeho stěny. Z turniketového podavače je materiál dopravován do skleněné kolony. Skleněná kolona bude vyhřívána topnými pásy (6), aby nedocházelo k teplotním ztrátám kukuřic a zároveň bude dohřívána vzduchem. Ze skleněné kolony budou kukuřice dopravovány na rošt (7). Druhým směrem bude přímo proudit ohřátá vzdušina skrz rošt.

5.3 Výběr předeřřivacích komponentů

V průběhu akademického roku 2019/20 jsem se před výběrem předeřřivacích komponentů musel blíže seznámit s fluidním zařřzením, jak funguje v praxi. Během druhé poloviny akademického roku jsem vyhledával a kontaktoval firmy, zdali jsou schopné zajistit vybrané produkty pro práci o vyšších teplotách. Část původních komponentů ze zařřzení jsem využil pro tento návrh.

Dmýchadlo

Jako jeden z prvních původních komponentů, který se v současné době nachází ve fluidním zařřzení a dopravuje vzdušinu, je dmýchadlo ROBUST (viz. Obr. 5.5) od švýcarské firmy Leister Technologies AG. Pro zajištění požadovaného průtoku vzduchu do popkornového zásobníku a k dopravě vzdušiny přes děrovanou přepážku jsou pořřizena dvě dmýchadla ROBUST, která jsou zapojena v paralelním zapojení. Tyto dvě dmýchadla se regulují za pomoci frekvenčního měniče FC 550, také od firmy Leister, který umožní dmýchadlům měnit otáčky, tudíž jejich výkon.



Obrázek 5.5 - Dmychadlo ROBUST [autor]

Ohřívač vzdušiny

Ohřev vzduchu zaručuje ohřívač LHS 61L SYSTEM (viz. Obr. 5.6) od firmy Leister. Tento druh ohřívače je způsobilý ohřát vstupující vzduch na požadovanou teplotu, který je dopravován do zásobníku popkornu a skleněného potrubí a současně je přiváděn přes děrovanou přepážku (rošt). Na základě předběžného měření bylo zjištěna teplota puknutí popkornu v rozmezí 155 – 172 [°C]. Výrobce ohříváku zaručuje ohřev vzduchu do 650 [°C].



Obrázek 5.6 - Ohřívač vzdušiny LHS 61L SYSTÉM [autor]

Dvousměrný regulátor vzdušiny

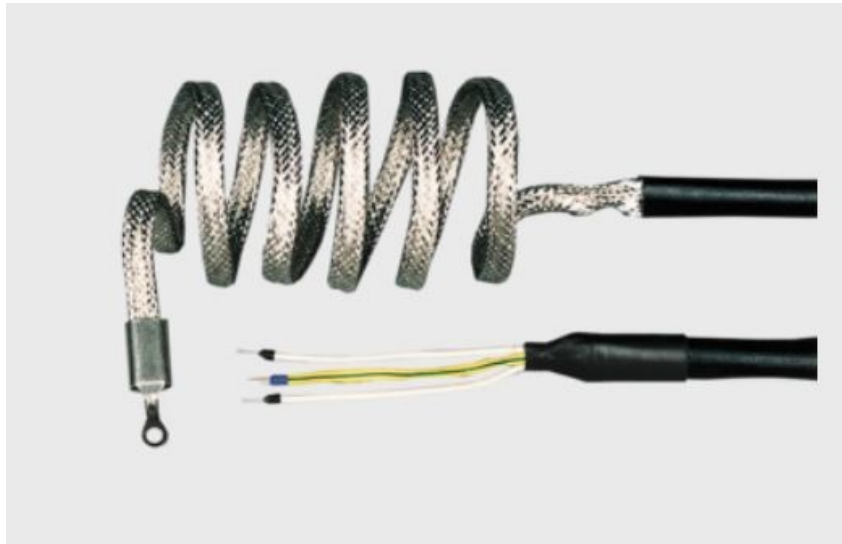
Jako rozvodové potrubí jsem zvolil dvousměrný regulátor vzdušiny od firmy JACOB. Tento produkt firma vyrábí z nerezové oceli o tloušťce 2 [mm]. Po zkontaktování s firmou jsem byl informován, že jsou schopní vyrobit komponent i o jiných parametrech na přání zákazníka. Potrubí bude sloužit pro regulaci průtoku za ohřívákem, a také jako rozvod vzduchu do skleněného potrubí a zásobníku. Jejich výstupní hrdla mají vývody pod úhlem 60° s ručním ovládáním.



Obrázek 5.7 - Dvousměrná symetrická klapka [19]

Topný pás

Pro ohřev skleněné kolony a zásobníku, bude použit topný pásek ze skelného hedvábí řady IT-S20 od firmy Hennlich, jehož vstupní napětí je 230 [V]. Maximální povrchová teplota je 450 [°C]. Hlavním důvodem výběru tohoto komponentu je ohřev potrubní části. Je potřebné, aby zde nedocházelo k teplotním ztrátám dopravovaného materiálu. Kukuřičná zrna musí být kontinuálně ohřívána. Pokud se zrna nahřejí a ztratí svoji teplotu během krátkodobé prodlevy, tak jejich další ohřev nebude tolik efektivní a nevypuknou.



Obrázek 5.8 - Topný pásek IT-S20 [20]

Přesnou regulaci teploty topného pásu zajišťuje teplotní regulátor ICon – TD7000. Výrobce tohoto regulátoru je také firma Hennlich. Na digitálním displeji je zobrazována zvolená teplota ve stupních Celsia.



Obrázek 5.9 - Teplotní regulátor ICon – TD7000 [20]

Doprava vzdušiny

Proudící vzduch, který bude regulovat dvousměrná symetrická klapka, bude jedním směrem dopravován přes vysokoteplotní flexibilní hadici, která bude zapojena do druhé regulační klapky. Z regulační dvousymetrické klapky bude hadice zapojena do potrubí, který dopravuje materiál a zásobníku. Jako vysokoteplotní hadici pro dopravu vzdušiny byla vybrána hadice typu CLIP CALOR HT 400 od firmy GMS Velkoobchod, s.r.o. Tento druh hadice pracuje s provozní teplotou do 400 [°C].



Obrázek 5.10 - Flexibilní potrubí CLIP CALOR HT 400 [23]

6 Návrh systému kontinuálního dávkování do reaktoru

V předchozí kapitole jsem se zmínil o časové náročnosti výroby popkornu. Kontinuální dávkování slouží k rychlejší produkci popkornu. Myšlenkou tohoto návrhu je, aby předem ohřátý materiál byl kontinuálně dopravován na rošt zařízení a kukuřičná zrna bez delší časové prodlevy vypukla.

Pro kontinuální dávkování kukuřičných zrn k roštu, bylo nutné zvolit vhodné dopravní dávkovací zařízení vzhledem k dopravovanému materiálu. Jako první úvaha byla o šnekovém dopravníku, který by byl vzduchem vyhříváný a šnekovým hřídelem byla dopravována kukuřičná zrna. Tento typ transportu materiálu byl zamítnut, protože kukuřičná zrna, která mají vysokou teplotu, by ji při tomto pomalém dávkování ztratila.

Jako druhá možnost je tedy turniketový podavač pro zrnitý materiál. Toto zařízení je připojeno ke skleněnému potrubí, ve kterém proudí horký vzduch. Vstupní zařízení do potrubí pro ohřátou vzdušinu a turniketový podavač, zajišťuje dvousměrné koleno z nerezové oceli. Potrubí (upevňovací komponent), které je upevněno s vertikálním skleněným potrubím funguje jako výstupní část materiálu, který je dopravován na rošt.

V úvaze byla také zpětná klapka, která by byla upevněna mezi kolenem a upevňovacím komponentem. Klapka by sloužila k zamezení proudícího vzduchu ze směru roštu, ale jestliže bude materiál kontinuálně dopravován na rošt, klapka by byla pořád vysunutá a k žádnému zamezení proudícího vzduchu od roštu nedojde. Proto jsem zvolil upevňovací komponent se zúženým potrubím, který spojuje vertikální skleněné potrubí a roštové šoupátko. Tato problematika musí být před realizací experimentálně změřena.

Turniketový podavač se zásobníkem

Zařízení, které bylo vybráno pro kontinuální dávkování je turniketový podavač typu AL- 100 od firmy Sklenář s.r.o. Vstupní hrdlo těla podavače vyrábí firma v různých průměrech od 100 – 500 [mm] na vyžádání zákazníka. Pro ten podavač je vybrán průměr vstupního hrdla 100 [mm] s lopatkami a rotory z nerezové oceli. Materiál vstupuje hrdlem zařízení do těla podavače, ve kterém rotují lopatky. Mezi lopatkami a tělem podavače je materiál přemístěn do spodní části zařízení a kukuřičná zrna padají do skleněného potrubí.



Obrázek 6.1 - Turniketový podavač AL - 100 [21]

Zásobník v kuželovém tvaru pro turniketový podavač byl vymodelován v programu Autodesk Inventor Professional 2018. Kapacita zásobníku činí 10 [dm³]. Celková výška zásobníku je 40 [cm]. Zásobník je z nerezové oceli. Vrchní část zásobníku je upevněna se vstupním potrubím do podavače pomocí osmi šroubů M10. Uprostřed víka zásobníku je otvor pro doplnění materiálu a zároveň složí k tomu, aby nedocházelo uvnitř tohoto komponentu k přetlaku. Finální podobu tohoto komponentu zhotoví firma VTK Strojírenská s.r.o.

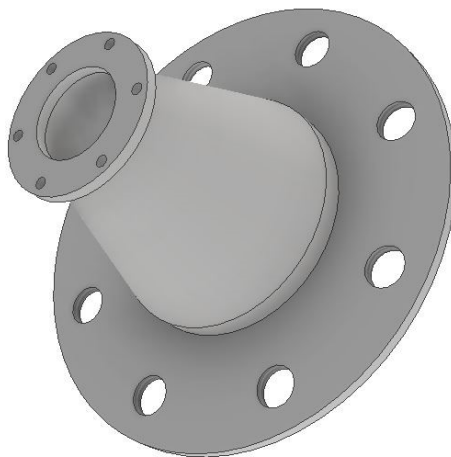


Obrázek 6.2 - 3D model zásobníku [autor]

6.1 Návrh potrubního systému

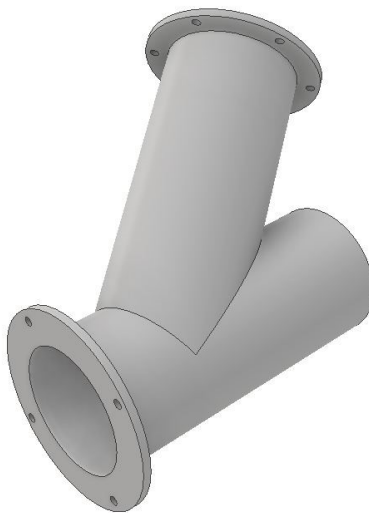
Pro návrh potrubního systému bylo postupováno podle zvoleného výstupního hrdla turniketového podavače, který udává výrobce. Výstupní hrdlo bude o průměru 100 [mm], jehož vnější průměr příruby je 210 [mm].

Dle výstupních rozměrů podavače bylo navrženo zúžené vstupní hrdlo do potrubního systému, které se skládá ze dvou přírub a hlavní zúžené potrubní části. Finální podobu jednotlivých částí zhotoví firma VTK Strojírenská s.r.o.



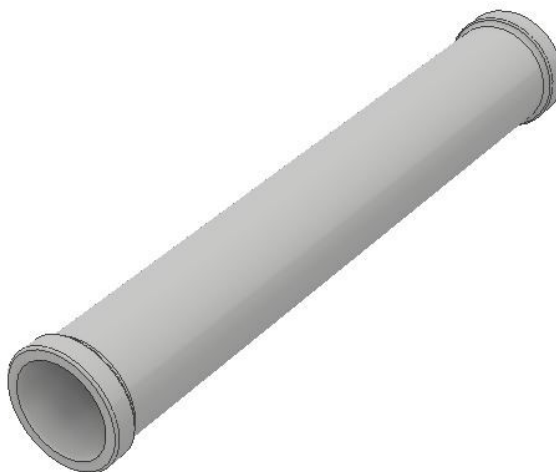
Obrázek 6.3 - 3D model zúženého potrubí [autor]

Jako připojovací komponent je navrženo rozdvojené potrubí. Do vstupujícího hrdla, ve kterém bude procházet materiál, bude nasunuta příruba. Druhé vstupující hrdlo, ve kterém bude procházet horký vzduch bude bez příruby. Na výstupní části potrubí bude svařena příruba. Finální podobu jednotlivých částí zhotoví opět stejná firma VTK Strojírenská s.r.o.



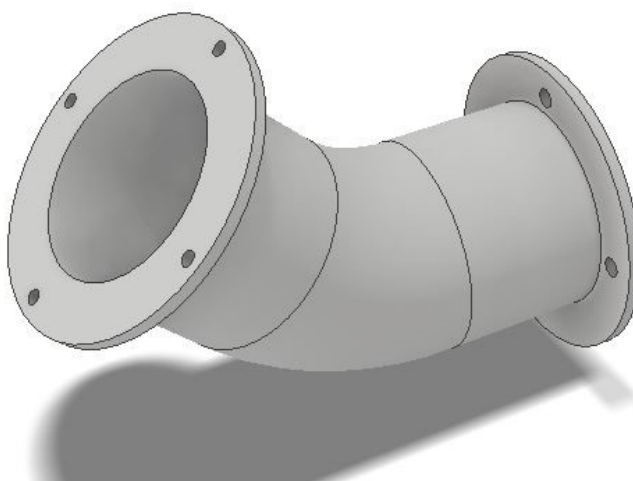
Obrázek 6.4 - 3D model rozdvojeného potrubí [autor]

Hlavní část, která tvoří dopravní potrubní systém tvoří skleněné potrubí. Tento druh potrubí spolu s přírubami a těsněním dodá firma KAVALIERGLASS, a.s., která již v minulých letech při realizaci fluidního zařízení zhotovila skleněné potrubí.

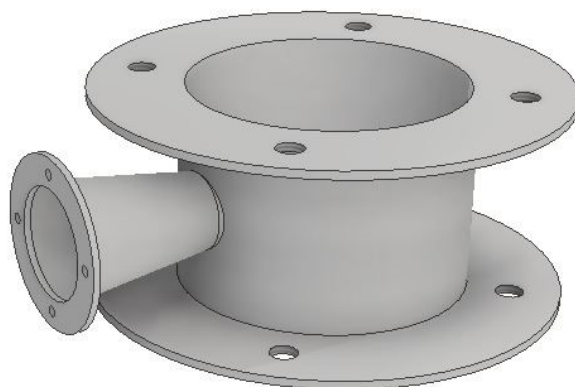


Obrázek 6.5 - 3D model skleněného potrubí [autor]

Další částí potrubního systému je koleno, které má z obou částí svařeny příruby. S výstupní částí kolena je spojen upevňovací komponent, který je přímo upevněn do vertikálního skleněného potrubí. Na upevňovacím komponentu je nasunuta příruba ze spodní a horní části. Vrechní část příruby slouží pro upevnění tohoto komponentu se skleněným potrubím. Druhá část příruby slouží k upevnění téhož potrubí s roštovým šoupátkem. Tento upevňovací komponent má zúžené vstupní hrdlo z důvodu, aby vstupující materiál na rošt získal větší rychlost. Tyto díly, také zhotoví do finální podoby firma VTK Strojírenská s.r.o.



Obrázek 6.6 - 3D model koleno [autor]

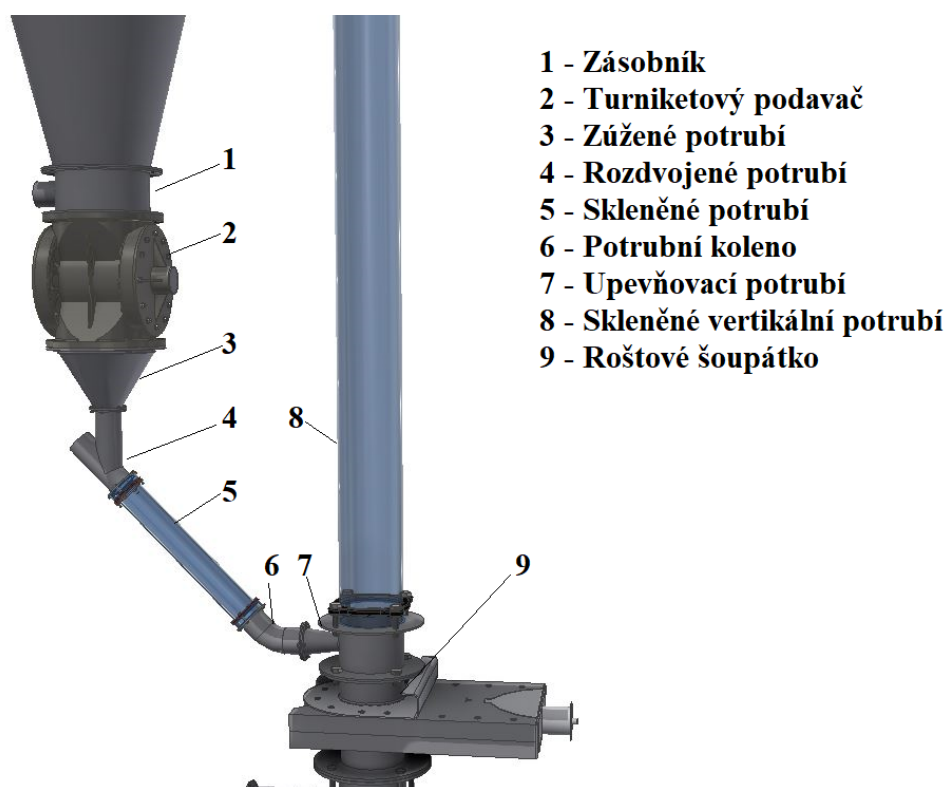


Obrázek 6.7 - 3D model upevňovací komponent [autor]

6.2 Vizualizace dopravního systému

Tento pilotní model (viz. Obr. 6.8) jsem vymodeloval v programu Autodesk Inventor Professional 2018 pro vizualizaci dopravního systému.

Na levé straně zásobníku je umístěné připojovací vstupní potrubí pro ohřátý vzduch. Zásobník (1) s turniketovým podavačem (2) je upevněný osmi šrouby M18. Vstupní a výstupní hrdlo podavače je vybráno o průměru 100 [mm]. Mezi spodní částí podavače a rozdvojeném potrubím je připojeno zúžené potrubí (3) pomocí šesti šroubů M18, na kterém jsou nasunuty příruby z vrchní a spodní části. Výstupní hrdlo zúženého potrubí je průměru 40 [mm]. Ze zúženého potrubí je materiál dopravován do rozdvojeného potrubí (4), které slouží pro vstup ohřáté vzdušiny a kukuřičných zrn. Ohřátá vzdušina, která vstupuje do rozdvojeného potrubí, slouží k rychlému přesunu materiálu na rošt a zároveň k jeho ohřevu. Na výstupní straně rozdvojeného potrubí o průměru 40 [mm] je nasunuta příruba se čtyřmi závitovými otvory. K rozdvojenému potrubí je připojené skleněné potrubí (5) a celý spoj je propojen čtyřmi šrouby M5. Na výstupní části skleněného potrubí je upevněno koleno (6) s přírubou se čtyřmi závitovými otvory, skrz které vedou šrouby M5. Upevňovací komponent (7) zajišťuje upevnění dopravního systému materiálu s vertikálním skleněným potrubím (8) a roštovým šoupátkem (9). Vstupní hrdlo upevňovacího komponentu je zúžené. Tento způsob provedení slouží k tomu, aby pneumaticky dopravovaný materiál získal větší rychlost v tomto úseku před vstupem na rošt. Na tento upevňovací komponent je nasunuta příruba z vrchní a spodní části. Vstupní část upevňovacího komponentu je upevněna s kolenem pomocí šesti šroubů M5. Spodní část upevňovacího komponentu je upevněna s roštovým šoupátkem čtyřmi šrouby M10. Vrchní část upevňovacího komponentu je upevněna se skleněným vertikálním potrubím čtyřmi šrouby M10.



Obrázek 6.8 - Vizualizace dopravního systému [autor]

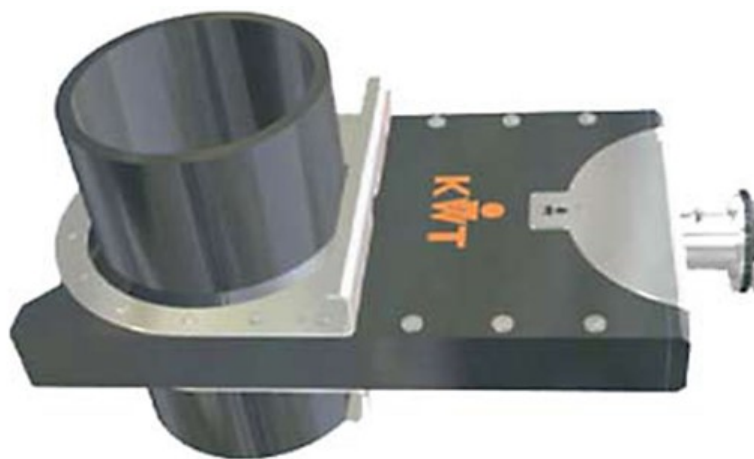
7 Návrh systému odvodů zbytků materiálu z reaktoru

Na základě pozorování fluidního zařízení na výrobu popkornu jsem zpozoroval část nekvalitního materiálu. Zrníčka, která jsou ohřívána vzduchem nevypuknou a jsou poškozená. Většina z nich jsou obvykle vysušená, tudíž s nedostačující vlhkostí v nich nezačne vařit voda a tlak v jádře zrníčka není tak velký, aby vypuklo. Z tohoto důvodu je vymodelován pilotní model pro odvod zbytků materiálu z fluidního reaktoru popkornu v programu Autodesk Inventor Professional 2018. Tento odvod zbytků materiálu slouží především k usnadnění práce obsluhy oproti ručnímu vysávání, a také pro časovou nenáročnost.

Odvod zbytků materiálu funguje na principu dvou šoupátek. První roštové šoupátko je umístěno nad T-kusem potrubí a funguje i jako rošt. Po zastavení provozu se rošt vysune a dojde k propadu nekvalitního materiálu ke spodnímu šoupátku (kruhové). Posléze se kruhové šoupátko vysune a dojde k propadu kukuřičných zrn do odpadní nádoby.

Roštové šoupátko

Pro odvod zbytků materiálu je vybráno šoupátko KWT inline Penstock KLSA 100 od anglické firmy Althon. Je k dispozici v různých formách a používají se k povrchové a technologické vodě. Je vhodný i pro vzduchotechniku a kanalizační potrubí. Toto zařízení lze ovládat ručně nebo s pohonem. Výhodou je lehká instalace, prakticky bez údržby, lehká robustní konstrukce a odolný vůči UV a nárazům. Pohyblivá deska a vřeteno je z nerezové oceli.



Obrázek 7.1 - Šoupátko KLSA 100 [22]

Pro správný výběr roštu jsem se částečně inspiroval podle současného typu roštu ve fluidním zařízení. V této části zařízení dochází ke fluidizaci kukuřice, kde je důležité vhodně zvolit parametry roštu. Podle naměřených hodnot se nejmenší průměr kukuřice pohybuje v rozmezí $4,8 \div 5$ [mm]. V pohyblivé desce šoupátka KLSA 100, která funguje jako rošt, jsou vyvrtány díry s průměrem 4 [mm] a se vzdáleností středů 6 [mm], aby části kukuřice nepropadávaly a zamezilo se propadu kukuřic směrem dolů skrz děrovanou přepážku. Jako finální podobu jsem šoupátko vymodeloval v programu Autodesk Inventor Professional 2018.



Obrázek 7.2 - Vizualizace roštu [autor]

Šoupátko kruhové

Jako druhé šoupátko je zvoleno od firmy JACOB. Šoupátko během chodu zařízení funguje na principu těsnění proudícího vzduchu skrz rošt, aby nedocházelo k tlakovému poklesu ve vertikálním skleněném potrubí. Jakmile se zastaví výroba popcornu, šoupátko poslouží k zachycení propadu nekvalitních kukuřičných zrn. Tento typ šoupátka je ručně ovládaný.



Obrázek 7.3 - Šoupátko kruhové [19]

Pro tento návrh jsem zvolil dvě různá šoupátka. Avšak roštové šoupátko, které je ovládáno pohonem se může nahradit kruhovým šoupátkem. Před realizací se mohou pořídít dvě kruhová šoupátka s ručním ovládáním od stejného dodavatele. Jelikož roštové šoupátko s pohonem se bude otevírat a zavírat ve stejnou chvíli jako kruhové šoupátko, tak je pro začátek vhodnější mít obě šoupátka s ručním ovládáním.

Záměna potrubí

Pod roštem se nachází potrubní koleno z nerezové oceli. V současném zařízení se T-kus nachází na horní části zařízení zapojený nad skleněným vertikálním potrubím. Tento T-kus je vyměněn za koleno a slouží jako spojovací část mezi roštem a spodním šoupátkem. Před realizací se musí část T-kusu potrubí vertikálního směru vhodně zkrátit pro upevnění kruhového šoupátka. Koleno složí jako ústí materiálu do cyklónu. Výměna těchto komponentů především ušetří pořizovací náklady.



Obrázek 7.4 - T-Kus potrubí [autor]

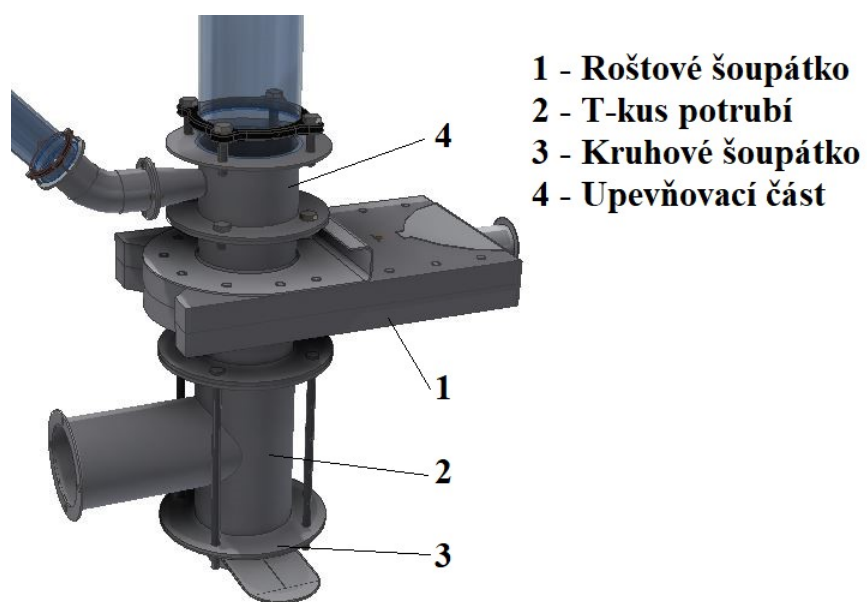


Obrázek 7.5 - Koleny [autor]

7.1. Vizualizace systému odvodů zbytků materiálu

Pro odvod zbytků materiálu je vymodelována vizualizace systému (viz. Obr. 7.6) v programu Autodesk Inventor Professional 2018.

Materiál je skrz upevňovací potrubí dopravován na rošt. Se skleněným vertikálním potrubím je upevněno upevňovací potrubí (4), které také spojuje dopravní systém a roštové šoupátko (1). S roštovým šoupátkem je upevněno pomocí čtyř závitových šroubů M10. Roštové šoupátko se vysune a materiál vlivem gravitační síly padá přes T-kus potrubí do kruhového šoupátka. Na spodní a vrchní části roštového šoupátka jsou upevněny příruby. Ze spodní části je šoupátko spojeno čtyřmi závitovými tyčemi M10 s T-kusem potrubí (2), které zároveň spojují výstupní část potrubí s kruhovým šoupátkem (3). Kruhové šoupátko se vysune a materiál opět vlivem gravitační síly padá směrem dolů do sběrné nádoby.



Obrázek 7.6 - Vizualizace odvodů zbytků materiálu [autor]

8 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout řešení sloužící k rychlejší produkci a usnadnění práce obsluhy pro výukový model fluidního “popkornového” zařízení. Problematikou pro tento návrh byla současná globální krizová situace virového onemocnění COVID-19, která mi neumožnila větší počet experimentálních měření pro ohřev vstupního materiálu do fluidního výrobníku popkornu. Z tohoto důvodu se nemohla provést případná realizace návrhu bakalářské práce.

V současném fluidním zařízení je konstrukce rámu malá. Před realizací tohoto návrhu je také vhodné, aby současný rám byl vyměněný za nový. Šířka nového rámu, by neměla překročit běžnou normovanou šířku dveří, aby tak manipulace se zařízením byla pohodová. Velikost rámu je vhodné změnit pouze v její v délce.

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na popis fluidního spalování, které zahrnuje vznik fluidních vrstev při tomto procesu. V této oblasti jsou také uvedeny základní typy kotlů. Druhá kapitola teoretické části se zabývá transportními zařízeními pro dopravu materiálu a jsou popsána jednotlivá dopravní zařízení s tažným elementem.

Praktická část bakalářské práce začíná čtvrtou kapitolou, kde byl pro představení zařízení popsán současný výukový model fluidního zařízení. Následující kapitola se zabývala návrhem systému předehřevu materiálu. Zde se tato kapitola věnovala měřením teplot materiálu pomocí termočlánku. Z jednotlivých odběrových míst měření byly získány naměřené hodnoty, ze kterých je stanovena vhodná teplota materiálu před vstupem do reaktoru. V této kapitole, i také navazuje část popisující návrh předehřívacího systému, kde je popsán průběh proudění ohřáté vzdušiny a zároveň jsou popsány komponenty sloužící k předehřevu materiálu. V kapitole č. 6 je navrženo kontinuální dávkování materiálu do reaktoru. Zde jsou popsána zařízení sloužící k tomuto systému a následně jsou v programu Autodesk Inventor 2018 vytvořeny 3D modely potrubí zapojené do reaktoru. V poslední kapitole je navržen systém odvodů materiálu z reaktoru. K tomuto systému byly vybrány dva šoupátkové komponenty a následně je v programu vymodelována 3D vizualizace tohoto systému.

Seznam literatury

- [1] ČERNÝ, Václav, Břetislav JANEBA a Jiří TEYSSLER. *Parní kotle*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. Česká matice technická, č. spisu 381, roč. 88 (1983).
- [2] NOVOTNÝ, Pavel. *Fluidní spalování tuhých a kapalných paliv a odpadů*. Oborové středisko TEI, Běchovice: Vydává Ústav pro výzkum a využití paliv, 1969. Monografie ÚVP, č. 14.
- [3] KUNII, D. LEVENSPIEL, O. *Fluidization Engineering*. 2. vydání. Howard Brenner Massachusetts institute of Technology: Butterworth-Heinemann, 1991. 522 s. ISBN 0- 409-90233-0. [cit. 2020-05-04]
- [4] ČECH, B. *Fluidní spalovací zařízení v energetice: Fluidized bed combustion devices in energetics* : teze habilitační přednášky. VŠB - Technická univerzita Ostrava Fakulta strojní. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011. ISBN 978-80-248-2490-1. [cit. 2020-05-06]
- [5] VALENTOVA. *Fluidace* [online]. 1-6 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: http://www.mssch.cz/sites/default/files/_uzivatele/valentova/Fluidace.pdf
- [6] SCHREIBEROVÁ, Lenka. *8 Fluidace* [online]. 1-9 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/labchi/Fl.pdf>
- [7] Fluidní spalování. *Energyweb* [online]. 2002 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=fluid_spal.html
- [8] NOVOTNÝ, Pavel a Ludvík FIALA. *Spalování paliv a odpadů ve fluidní vrstvě*. Praha: SNTL, 1977.
- [9] POLÁK, Jaromír. *Dopravní a manipulační zařízení II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0493-x.
- [10] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1988.
- [11] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 80-248-0043-8.
- [12] BRÁZDA, R., Günther P., Skácel K., Vyletělek J., Grabec J., Žalčík J. *Dopravní systémy v průmyslových podnicích*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Pardubice: Univerzita Pardubice 2017. ISBN 978-80-248-3258-6.
- [13] POLÁK, Jaromír a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0963-x.
- [14] *Engineering_Catalog_1-2010.pdf* [online]. 2010, 17.8.2017 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/356521866/Engineering-Catalog-1-2010-pdf>

- [15] MONK: *TECHNICAL MANUAL - ROLLER CONVEYORS* [online]. 17.8.2017 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.monk-conveyors.com/pdf/Downloads/roller%20conveyors%20-%20technical%20spec.pdf>
- [16] *Rulmeca, belt conveying, rollers – Technical information*, [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: http://download.rulmeca.it/catalogo/macrofamiglia_eng/1%20technical_information.pdf
- [17] *Practical Maintenance*, [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Construction-and-Maintenance-ofBelt-Conveyors-for-Coal-and-Bulk-Material-Handling-Plants.pdf>
- [18] BRÁZDA, R., Vyletělek J., Günther P., Skácel K., Grabec J., Žalčík J. *Dopravní systémy v průmyslových podnicích*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Pardubice: Univerzita Pardubice 2017. ISBN 978-80-248-3257-9.
- [19] JACOB. *Jacob-group* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://jacob-group.cz/>
- [20] Hennlich. *Hennlich* [online]. Litoměřice, 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/>
- [21] SKLENAR. *Sklenar-technologie* [online]. Dlouhoňovice [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.sklenar-technologie.cz/>
- [22] 100mm Inline Penstock, *Althon* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.althon.co.uk/products/100mm-inline-penstock/detail/>
- [23] CLIP CALOR HT 50 MM, *Ventilatory* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/clip-calor-ht-400-50-mm.html>
- [24] TUNE-R-250-B, *Systemair* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://shop.systemair.com/cs-CZ/tune--r--250--b/p139127>
- [25] KULICH, Stanislav. *Dálková pásová doprava* [online]. Brno, 2018, 60 s. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/82127/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Lukáš Zeizinger.
- [26] JADLOVEC, Marek. *Návrh prototypového zařízení pro výzkum spalování paliv ve fluidní vrstvě a snižování emisí těžkých kovů* [online]. Ostrava, 2018, 66 s. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129420/JAD0009_FS_N2301_2302T006_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.
- [27] PROKŠA, Ondřej. *Realizace a modelování prototypu „popkornového“ fluidního zařízení* [online]. Ostrava, 2013, 63 s. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/99630/PRO0005_FS_N2301_2302T00

6_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. RNDr. Milada KOZUBKOVÁ, CSc.

- [28] Leaf Surface Temperature Probe - for Instant Measurement of Flat Surfaces. Omega [online]. 2003 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.omega.com/en-us/sensors-and-sensing-equipment/temperature/sensors/surface-sensors/p/88L40K-88L75K>

Seznam použitých obrázků

Obrázek 2.1 - Charakteristiky fluidní vrstvy [3]	11
Obrázek 2.2 - Typy fluidní vrstvy [3]	13
Obrázek 2.3 - Schéma fluidního kotle IGNIFLUID [4]	15
Obrázek 2.4 - Schéma cirkulujícího kotle K12 v ENERGETICE Třinec [4]	16
Obrázek 2.5 - Schéma fluidního kotle druhého typu DUKLAFLUID [8]	17
Obrázek 3.1 - Konstrukce šnekového dopravníku [14]	19
Obrázek 3.2 - Válečková trať [15]	20
Obrázek 3.3 - Pásový dopravník [16]	21
Obrázek 4.1 - Fluidní "popkornové" zařízení [autor]	25
Obrázek 5.1 - Odběrová místa [autor]	26
Obrázek 5.2 - Teplotní čidlo typu 88L40K [28]	28
Obrázek 5.3 - Měření ve třetím odběrovém místě [autor]	29
Obrázek 5.4 - Schéma předeřívacího systému [autor]	30
Obrázek 5.5 - Dmychadlo ROBUST [autor]	31
Obrázek 5.6 - Ohřívač vzdušiny LHS 61L SYSTÉM [autor]	31
Obrázek 5.7 - Dvousměrná symetrická klapka [19]	32
Obrázek 5.8 - Topný páspek IT-S20 [20]	32
Obrázek 5.9 - Teplotní regulátor ICon – TD7000 [20]	33
Obrázek 5.10 - Flexibilní potrubí CLIP CALOR HT 400 [23]	33
Obrázek 6.1 - Turniketový podavač AL - 100 [21]	35
Obrázek 6.2 - 3D model zásobníku [autor]	35
Obrázek 7.1 - Šoupátko KLSA 100 [22]	40
Obrázek 7.2 - Vizualizace roštu [autor]	40
Obrázek 7.3 - Šoupátko kruhové [19]	41
Obrázek 7.4 - T-Kus potrubí [autor]	41
Obrázek 7.5 - Koleno [autor]	42
Obrázek 7.6 - Vizualizace odvodů zbytků materiálu [autor]	43

Seznam tabulek

Tabulka 5.1- Naměřené hodnoty teploty puknutí kukuřic za dobu ohřevu.....	27
Tabulka 5.2 - Parametry teploměru Voltcraft	28

Seznam příloh

[A] – Výkres skleněného potrubí

[B] – Výkres zúženého potrubí

[C] – Technické listy

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Pavlíkovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas věnovaný konzultacím.

Dále bych chtěl poděkovat i své rodině a blízkým za podporu při studiu.